

菱形空间曲面大网格钢结构施工技术

段文付¹ 杨大勇²

(1. 武汉光谷建设投资有限公司,湖北 武汉 430205; 2. 湖北省工业建筑集团有限公司,湖北 武汉 430064)

[摘要] 光谷国际网球中心5 000座网球馆外围钢网格采用双向斜交的菱形空间曲面大网格钢结构,具有结构复杂、加工安装难度大、要求精度高等特点。结合项目实际,介绍了双向斜交的菱形空间曲面大网格钢结构制作安装控制要点,并通过有效的施工过程监测,准确高效地完成了钢结构安装任务。

[关键词] 钢结构;空间结构;网格;吊装;施工技术

[中图分类号] TU758.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2016)02-0065-03

Construction of the Large Space Curved Surface Forming Rhombic Grid Steel Structure

Duan Wenfu¹, Yang Dayong²

(1. Wuhan Optical Valley Construction Investment Co., Ltd., Wuhan Hubei 430205, China;

2. Hubei Industrial Construction Group Co., Ltd., Wuhan Hubei 430064, China)

Abstract: The 5 000 seats tennis stadium of Optics Valley International Tennis Center (OVITC) adopts large spatial obliquely intersected steel structure forming a space curved exterior surface with rhombic grid, which features a tremendous complexities and difficulties in structural arrangement, high requirements for manufacturing, and site erection. With on-site project experience, this article highlights the major controlling and monitoring aspects for the successful construction of the obliquely intersected rhombic steel grid of the OVITC stadium.

Key words: steel structures; space structure; grid; hoists; construction

1 工程概况

光谷国际网球中心5 000座网球馆外围钢网格采用双向斜交的菱形空间曲面大网格钢结构,采用三角形钢管双向布置主肋,逆时针布置次肋。钢结构顶高度最高达17.000m,场内最大悬挑约为6.8m,外围钢网格顶口直径为82.6m,分别在平台层和看台顶层环梁处与主体结构铰接。如图1所示。

2 施工难点

由于主构架采用双向斜交,且为焊接弧形三角形钢管,截面规格为 $\Delta 400 \times 400 \times 400 \times 14$,下料加工既要考虑每块板的水平下料尺寸,又要考虑单块板件的空间弧度,最后还要使得3块空间弧度的板材拼焊之后形成的单元杆件满足整个构架弧面安装精度要求。

安装难度大是该项目又一特点,构架按单个杆

件在工厂加工,共计约6 500个杆件,然后在现场进行单元拼装,采用“大型履带式起重机场外分片吊装、汽车式起重机单元拼装及散件补装”的安装方案进行安装。单元拼装只能在网球馆的室外2层平台,每个单元约重16t,在地面通过250t履带式起重机(经计算该起重机在最不利吊装工况下起重量大于1.25倍的构件质量)吊装就位,然后在空中进行单元对接拼焊。单元杆件拼装及单元空中组装过程中需要根据整个建筑造型的曲面弧度要求进行测量校核,以确保每个单元的弧度满足设计要求。环形网架只有在合拢后,才能达到整体稳定,而安装阶段属于可变体系,任何的构件变形或荷载变化都会导致最后无法准确合拢。安装过程中,随着结构体系自身荷载的不断增长,局部位置呈现渐变趋势,而现场的空中焊接加剧了这种渐变趋势,结构变形难以控制。因此,根据环形构架特点及现场施工情况,探索出一套满足设计要求的加工制作安装控制要点,以及施工过程中的测量校正方法,对项

[作者简介] 段文付,工程师,国家一级注册建造师,E-mail: dwf168@126.com

[收稿日期] 2015-04-02

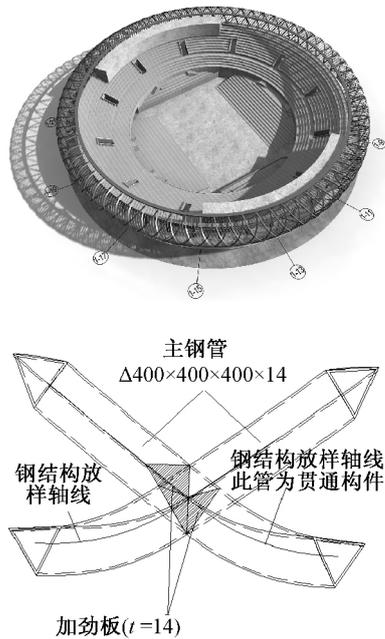


图 1 工程及主要节点示意

Fig. 1 The model and main joint of the project

目的顺利实施意义重大。

3 加工及安装控制要点^[1-3]

3.1 加工控制要点

3.1.1 钢材下料

采用专业软件进行三角形钢管模型建模,然后将面板展开,并提取关键点位的数据作为后续成型校核的依据。面板为单向空间弧形,成型加工采取以卷板机为主,油压机(配置专用模具)局部整形技术,并根据成型要求在腹板上划出控制线。

根据整体建模取得的关键控制点数据,结合钢板上划出的控制线,通过矢量控制法检测弧形板的空间弧度及平面尺寸是否符合设计要求。如图 2 所示。

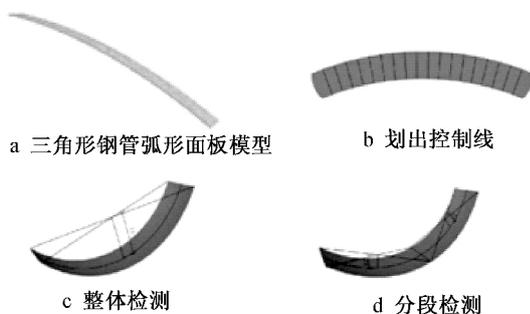


图 2 钢板下料裁割

Fig. 2 Blanking and cutting of steel plate

3.1.2 构件组装拼焊

钢板经上述下料、剪裁等预处理且长、宽尺寸及弧度检验合格后,将其中一块钢板按照控制线要

求位置放置,固定在胎架上作为基板,确保焊接过程中不发生移动或较大变形,确保 3 块面板逐一通过胎架。随后分别按照划线定位,焊接后续 2 块钢板。如图 3 所示。

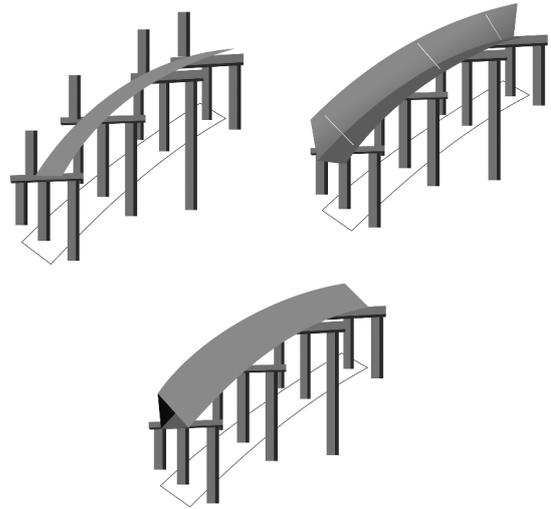


图 3 钢板胎架拼装

Fig. 3 Plate elements assembly on the jig

3.2 安装控制要点

3.2.1 吊装方案

根据钢结构结构特点以及周围施工条件分析,本工程钢结构采用分块吊装的施工方案。采用 1 台 250t 履带式起重机、2 台 50t 汽车式起重机进行吊装。钢网格结构采用“大型履带式起重机场外分片吊装、汽车式起重机散件补装”的安装方案进行安装。根据圆形的结构形式及场地地貌,将整个钢架分为 1 2 3 4 4 个区块,逆时针旋转,各个区块结构形式一致。其中空间网格整楹吊装过程中主要分为 2 个典型的吊装单元。如图 4 所示。

钢结构安装顺序为:吊装指定场内区域的支撑架→安装网格一侧的 V 形撑杆并支撑牢固→吊装网格单元并与支座和撑杆相连安装→起重机不松钩再安装另一侧的 V 形撑杆→全部安装牢固后依次吊装下一个网格单元,并穿插进行已安装完毕网格单元之间的结构杆件安装。如图 5 6 所示。

3.2.2 吊装防变形措施

由于本工程吊装单元为一曲面造型,而地面拼装和存放时均为卧放。因此吊装单元吊装时的翻身过程尤为重要。构件翻身起吊时控制不产生较大变形,以利于构件安装及外形控制。考虑到本工程钢结构对网球中心装饰构架的精度要求较高,因此钢结构翻身时将设置 1 台辅助起重机进行吊装,翻身过程如下:①第 1 步 2 台起重机水平将吊装单元吊起(1 台 250t 履带式起重机和 1 台副起重机)。②第 2 步 2 台起重机对桁架缓慢进行翻身。

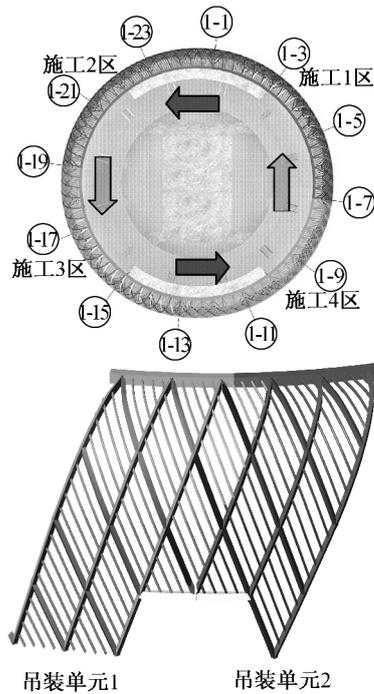


图4 单元吊装

Fig. 4 Hoisting of large precast members

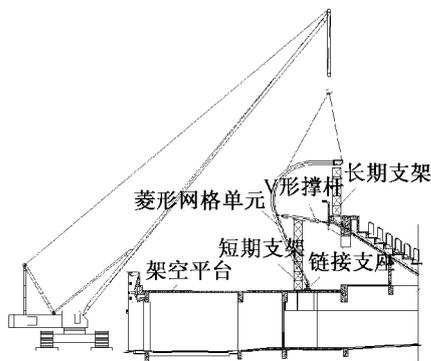


图5 吊装立面布置

Fig. 5 The elevation layout for hoisting

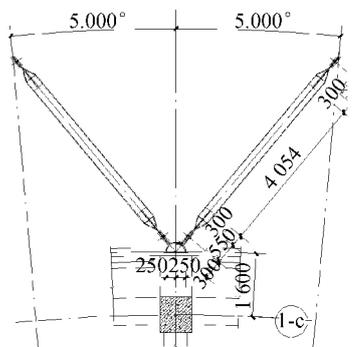


图6 V形撑杆大样

Fig. 6 The detail drawing of V-type strut

其中主起重机升钩,副起重机降钩并喂送。③第3步 构件立直,此时副起重机松钩,吊装单元立直。考虑在空间网格单元吊装落位过程中,先将底

部支座处利用原结构销轴连接牢固,上部两端搁置在提前安装好的支撑架上,接着通过起重机慢慢松钩,但钢丝绳仍然绑扎牢固,利用此工况可将结构单元由吊装及钢丝绳产生的变形释放掉,逐步恢复到原结构设计状态。其次将撑杆安装牢固,并在四周设置缆风绳拉接牢固,最后将起重机钢丝绳松钩。

此外,需要合理安排焊接顺序,减少焊接变形对接口位置的影响。焊接时采用对称焊接,对收缩部位较大的地方先焊,焊接过程中要平衡加热量。

3.2.3 合拢温度与合拢位置要求^[4-5]

网球馆结构为空间结构,构件自重产生的内力所占比例较大。钢结构施工顺序对结构构件在重力荷载作用下的内力将产生明显影响。由于钢结构连续长度大,结构安装需经历较长的时间跨度,结构形成过程和使用过程会存在较大的温差。使用过程中,结构中会产生较大的温度变形和温度应力,温度变形和温度应力的大小和结构形成时与使用时的温差直接相关。为控制安装过程的变形,减少结构使用过程中的极限温度变形和温度应力,必须保证合拢时的钢构件平均温度(合拢温度)应尽量接近结构可能达到的最高温度与最低温度的中间点,本项目的合拢温度为 $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。

菱形双向斜交网格结构复杂,主次结构明显,合拢位置在径向上必须整体断开,合拢线的选择比较困难。在确定合拢线时,不但要考虑结构本身的受力和变形情况,同时还应考虑钢结构的整体安装顺序和主次结构的安装分段情况,尽量减少合拢点的数量,特别是合拢口的数量,另外合拢线尽量避免铸钢件及板厚的杆件,减少焊接工作量,以方便施工,减少合拢时的人员、设备及其他资源的投入,并确保施工过程的安全。本结构的合拢线确定如下。

1) 主结构沿环向设置2条合拢线,考虑到合拢时的焊接质量控制,选在圆形构架对称的2个位置,且要考虑起重机就位场地因素符合要求,综合上述因素本工程的合拢线定在①-9及①-17轴线处(见图4)。

2) 安装时,合拢线处所有钢结构杆件均断开,采用钢卡马临时搭接,并保证合拢口的伸缩自由。

3) 合拢时合拢区域的次杆件采用临时固定,待结构合拢并卸载完成后,次结构最终焊接固定。

4 测量及校正^[6]

钢结构安装采用全站仪三维坐标法进行吊装定位测量。根据设计图纸注明的定位坐标图,吊装单元在地面拼装,拼装过程中时刻注意观测各个坐标点的位置变化,进行调整;每个吊装单元空中落

(下转第84页)

轨道梁的侧向稳定,根据《塔式起重机安全规程》,在轨道梁两侧每隔6m左右设置侧向斜撑,斜撑与预先埋在混凝土楼层上的埋件焊接固定。由于轨道梁的对接采用螺栓连接,不仅提高了轨道梁的安装精度,同时使得轨道梁长期可重复利用。

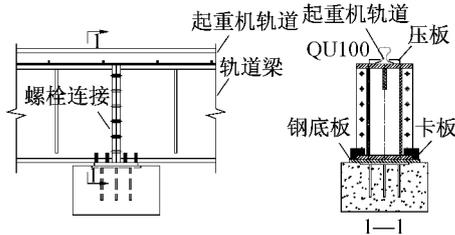


图6 轨道梁连接

Fig.6 Connection of track bearing beams

2.3 行走式塔式起重机对下部结构的影响分析

以B塔式起重机为例。除①-C和①-B轴线在混凝土柱上设置钢短柱以外,其余部位轨道梁均搁置于混凝土柱上,塔式起重机轮压荷载通过轨道梁传递给混凝土柱,以下将对混凝土柱和钢短柱(HW400×400)承载力进行验算。以轮压同时作用在混凝土柱顶和钢短柱柱顶为最不利工况验算。荷载组合:1.2D+(1.4×1.1)L;1.35D+0.7×(1.4×1.1)L;标准组合:1.0D+1.0L。其中D为结构自重荷载,包括楼层质量;L为轮压荷载。

经验算,混凝土柱最大轴压比为0.21,钢短柱最大应力比0.60,均满足要求。

3 塔式起重机安装

塔式起重机的安装流程如下:安装行走机构→安装塔身标准节→安装爬升套框→安装引进梁、回转、中心塔→安装平衡臂、吊臂、配重块、司机室→

安装其他附件→试车→顶升→调试→验收使用。根据塔式起重机各部件的质量,采用160t汽车式起重机进行塔式起重机及部分轨道梁的安装,利用安装好的塔式起重机再对剩余轨道梁逐步安装。

轨道在铺设前应用水平仪对轨道下方的轨道梁高度进行水平测量,纵横方向上的倾斜度 $\leq 1/1\,000$;轨距误差不大于公称值的 $1/1\,000$,其绝对值 $\leq 6\text{mm}$;钢轨接头间隙 $\leq 4\text{mm}$,与每一侧钢轨接头错开距离 $\geq 1.5\text{mm}$,接头处两轨顶高度差 $\leq 2\text{mm}$;轨道两端安装限位接触板及缓冲止挡板。

4 结语

某大剧院工程受现场施工条件的限制,采用4台1400t·m大型行走式塔式起重机上首层楼面进行吊装施工,解决了大面积混凝土楼面无法采用大型吊装机机械的难题。通过合理的设计计算,在混凝土柱顶设置钢短柱的形式将起重机荷载传递给混凝土柱,确保了结构的安全性,同时对轨道梁及轨道梁的连接做了详细的设计与计算。

参考文献:

- [1] 高玉兰,王益民,迁长伟. 1100t·m超大轨距行走式塔式起重机在高架候车层施工中的应用[J]. 施工技术, 2011, 40(20): 17-19.
- [2] 唐齐超,潘晓峰,周砚涛,等. 行走式塔式起重机上楼层吊装加固施工技术[J]. 钢结构, 2011, 26(9): 61-65.
- [3] 罗昭军. 位于楼面上的行走式塔式起重机吊装大跨度钢结构施工及性能分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [4] 北京建筑机械化研究院. 塔式起重机安全规程: GB5144—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [5] 马小晶,薛刚,孟书斌,等. 楼面行走式塔式起重机施工工艺设计[J]. 施工技术, 2013, 42(18): 114-117.
- [6] 李正华,付晨波,孙锋,等. 邯郸文化艺术中心钢结构机械化吊装施工[J]. 建筑机械化, 2012(2): 70-73.

(上接第67页)

位时均需要反复调整管口位置,操作难度大。高空定位时,履带式起重机一直吊着构件不松钩,待各个管口的位置调整好后,主管一侧先用临时连接耳板连接固定,另一侧使用千斤顶支撑调节到位后,立即派焊工对临时耳板连接处管口进行焊接,当焊接完成整圈后起重机才允许松钩。

网网格片段由于是和V形撑管进行连接,安装时保证V形撑安装位置正确,V形撑与网格节点连接完成后即定位完成。在安装过程中使用全站仪配合定位测量,出现误差时及时进行调整。

5 结语

光谷国际网球中心5000座网球馆外围网网格采用双向斜交的菱形空间曲面大网格钢结构,具有结构复杂、加工安装难度大、要求精度高等特点。

结合项目实际,制定出一套双向斜交的菱形空间曲面大网格钢结构制作、安装控制要点及施工方案,并通过有效的施工过程监测,准确高效地完成了钢结构安装的任务。

参考文献:

- [1] 中国钢结构协会. 建筑钢结构施工手册[M]. 北京: 中国计划出版社, 2002.
- [2] 沈祖炎. 钢结构制作安装手册: 第2版[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [3] 江苏苏宁钢机股份有限公司. 经典建筑钢结构工程(续集)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [4] 范重,王喆,唐杰. 国家体育场大跨度钢结构温度场分析与合拢温度研究[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(2): 32-40.
- [5] 宋林. 大跨度空间钢结构合拢技术研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008.
- [6] 王骥,柳锋,孙潇潇. 施工监测技术在大跨度空间钢结构中的应用[C]//第九届全国现代结构工程学术研讨会论文集, 2009.